

学校编码: 10384

学号: 200327005

分类号_____密级_____

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

浅海声信道文本、图象通信研究

Research on shallow water Text/Image Communication

毛岱山

指导教师姓名: 许鹭芬 高级工程师

专 业 名 称: 海洋物理

论文提交日期: 2006 年 5 月

论文答辩时间: 2006 年 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由该论文而产生的权利和责任。

声明人：

2006.5.

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘 要

随着祖国各方面的发展，水下通信正变得越来越重要，它涉及到国家政治、经济、军事、科研等各方面。我国是一个海洋大国，拥有丰富的海洋资源，也需要强有力的海军来保卫国家海洋权益。因此研究水下通信具有非常重要的意义。

水下通信包括水下文本、语音、图象、数据通信等，本论文所实现的系统着重讨论文本、图象通信。但是广义来说，本论文所使用的方法可用于传输任何数字信号。

水声信号是在水声信道中传输，因此研究水声信道的特性对水声通信的研究具有重要的指导意义，本论文利用项目组以往的研究基础并参考文献资料，综述了浅海水声信道的特性及其对水声传输的影响，提出了相应的对策。本论文还讨论了在水声通信中常用的信号处理方法并对其实现平台 DSP 做了简单介绍。

本论文完成了一个基于 DSP 的水下文本/图象传输系统，给出了实验室水池及厦门港海上实验结果。实验结果表明，本系统可正确传输文本信息、图象化的文本信息、图象及压缩图象，在传输误码率低于 5% 情况下，文字信息经过纠错，不出现错误；文本信息能正确辨认出文字，图象和压缩图象也能辨识。

本论文分为四个部分，各部分主要内容为：

第一部分为绪论，描述了研究水下通信系统的意义及存在的难点，介绍了当前水下通信系统研究的现状。

第二部分分析了浅海水声信道的特性及其对水声传输的影响，并讨论了某些常用的对策；

第三部分介绍常用的水声信号处理方法：FFT 及相关运算以及扩频通信的理论基础，讨论了水声通信中常用的直接序列扩频和跳频方案，最后简单介绍了数字信号处理的平台：TI 公司生产的 DSP 产品；

第四部分介绍了本论文实现的水下文本/图象传输系统，本系统各主要部件的技术参数和实现方法，并给出了实验室水池及厦门港海上实验结果。

关键词：浅海水声信道；文本/图象传输；相关；DSP

Abstract

With the development of our country in all aspects, underwater communication is getting more and more important. It affects different fields including national politics, economy, military, science development, and so on. Our country is in possession of abundant ocean resources, a strong navy is needed for protecting national rights and interests of our marginal sea. So it's of important significance to make further research on underwater communication.

Underwater communication covers text, voice, image, data communication, and others. This thesis focuses on the topic of text and image communication. But in general, the system this thesis discussed can be used in any kind of digital signal transfer.

The underwater acoustic signal is transferred in the underwater acoustic channel. Study of characteristics of underwater acoustic channel can give significant guidance to the research of underwater communication. Based on former research background of project team and in reference to data documents, this thesis illustrates the characteristics of underwater acoustic channel and its influence on the transferring of underwater acoustic signal and relative solutions. It is also introduced in this thesis the most commonly used signal processing strategies in underwater communication and the platform to realize it: DSP (Digital Signal Processor).

In the last part of this thesis, a real underwater text / image communication system based on DSP is introduced, and the experiment results gathered in the lab and in Xiamen port are given. The results present, this system can successfully transfer the text, text of image type, image, compressed image; text information in the image type can be easily recognized even with a high error rate, the same to the image transfer. The compressed image can be decoded correctly when the error rate is lower than 5%.

There are four main chapters in this thesis:

Chapter 1: Exordium; the significance of underwater communication research and the existing problems are discussed in this chapter. And the current status of

developments in the underwater communication area is introduced.

Chapter 2 : The characteristics of underwater acoustic channel and its influences to the transfer of underwater acoustic signals are analyzed in this chapter, and some common solutions to these influences .

Chapter 3: The general signal processing strategies in underwater communication: FFT and correlation are introduced in this chapter. The theory foundation of spread spectrum communication and DS (Direct Sequence), FH (Frequency Hopping), which are usually used in underwater communication are also introduced here. In the last part, the platform to realize all signal processing strategies: DSP, especially TI's DSP product is introduced briefly.

Chapter 4: The underwater communication system developed by our project group is introduced in this chapter. The detailed realization method and its technical parameters are presented. At the end of this chapter, the experiment results gathered in the lab and in Xiamen port are given.

Key words: shallow water acoustic channel; Frequency Hopping; text/image communication; correlation; DSP(Digital Signal Processor)

目 录

摘要.....	1
Abstract.....	2
目录.....	4
Index.....	6
第一章 绪论.....	8
1.1 研究水下文本/图象传输的意义.....	8
1.2 水声通信技术的发展及现状.....	9
第二章 浅海声信道的物理特性及其对声传输的影响和对策.....	20
2.1 海洋的声学特性.....	20
2.1.1 电磁波、光波、声波在海水中的衰减.....	20
2.1.2 海水中的声速.....	23
2.1.3 海面和海底.....	26
2.1.4 海洋内部的不均匀性.....	28
2.1.5 海洋噪声.....	28
2.1.6 随机时-空-频变特性.....	32
2.1.7 有限带宽.....	32
2.1.8 强多途.....	34
2.1.9 时间、频率双重选择性.....	36
第三章 常用信号处理方法.....	38
3.1 信号处理方法：傅立叶变换、相关检测.....	38
3.1.1 傅立叶变换.....	38
3.1.2 相关.....	43
3.2 扩频通信理论：直接序列扩频、跳频.....	51
3.2.1 扩频通信概述.....	51
3.2.2 扩频通信的理论基础.....	52
3.2.3 直接序列扩频.....	55

3.2.4	跳频.....	58
3.2.5	直扩与跳频的对比.....	64
3.3	DSP（数字信号处理器）简介.....	65
3.3.1	简介.....	65
3.3.2	C64xx 系列 DSP 芯片.....	68
3.3.3	DSP 软件开发.....	75
第四章	水下文本/图像传输系统.....	78
4.1	系统各部件介绍.....	79
4.1.1	计算机与DSP间的通信及信源编码.....	79
4.1.2	调制.....	80
4.1.3	前置放大及滤波.....	82
4.1.4	同步抓取.....	83
4.1.5	信息信号检测.....	86
4.1.6	软件流程图.....	87
4.2	实验结果.....	90
4.2.1	水池实验结果.....	90
4.2.2	厦门港海上实验结果.....	94
第五章	总结及进一步研究方向.....	96
	致谢.....	97
	参考文献.....	98

Index

Abstract.....	2
Index.....	6
Chapter 1 Introduction.....	8
1.1 The significance of researching underwater text/image communication..	8
1.2 The development history and current status.....	9
Chapter 2 Characters of shallow-sea acoustic channel and its effects	
to underwater communication.....	20
2.1 Acoustic characteristics of the ocean.....	20
2.1.1 The attenuation of electromagnetic wave, light wave and sound wave in the sea.....	20
2.1.2 Sound speed in the sea.....	23
2.1.3 The surface and bottom of the sea.....	26
2.1.4 The asymmetry of the sea.....	28
2.1.5 Noise in the sea.....	28
2.1.6 The random change of time-space-frequency field characteristic....	32
2.1.7 The limited bandwidth.....	32
2.1.8 The strong multi-path transfer of sound wave.....	34
2.1.9 The duplex selective attenuation in temporal and frequency field...	36
Chapter 3 Common used signal processing strategies.....	38
3.1 Signal processing strategies: Fourier transform, correlation.....	38
3.1.1 Fourier transform.....	38
3.1.2 Correlation.....	43
3.2 Foundations of spread spectrum: DS, FH.....	51
3.2.1 Introduction of spread spectrum communication.....	51
3.2.2 Foundations of spread spectrum communication.....	52
3.2.3 Direct spread spectrum.....	55
3.2.4 Frequency Hopping.....	58

3.2.5	Contrast between DS and FH.....	64
3.3	Introduction of Digital Signal Processor.....	65
3.3.1	Introduction.....	65
3.3.2	TI's DSP chip: C64xx.....	68
3.3.3	Software developments of DSP.....	75
Chapter 4	The underwater text/image communication.....	78
4.1	Detail description of this system.....	79
4.1.1	The communication between PC and DSP, and source coding.....	79
4.1.2	Modulation.....	80
4.1.3	The preamplifier and filter.....	82
4.1.4	Synchronization.....	83
4.1.5	Signal detection.....	86
4.1.6	Program flow diagram.....	89
4.2	Results of Experiment.....	90
4.2.1	Experiment results in Lab.....	90
4.2.2	Experiment results on the sea.....	94
Chapter 5	Conclusion and further development.....	96
	Acknowledgement.....	97
	References.....	98

第一章 绪论

随着陆地资源的日益匮乏，丰富的海洋资源正越来越多地吸引着人们的眼球。为了提高自身的综合国力，主要海洋国家在政治、经济、军事上，在海洋领域展开了激烈竞争。我国拥有一万八千多公里漫长的海岸线及三百多万平方公里辽阔海域，海洋资源非常丰富，保卫国家海洋安全的任务也非常艰巨。为充分地开发海洋资源，提高海洋军事能力，我国实施了“科技兴海”战略，大力发展海洋技术，这对提高我国综合国力、加快我国现代化进程有着至关重要的意义。

由于海洋的特殊自然环境条件，对海洋的探测远不如陆地甚至太空。由于海洋探测及开发的对象是被海水包围着的特殊空间，这就决定了海洋开发中的工程活动，常常与水声通信技术有着密切联系。在水中，无线电波和光波衰减得非常快，因此使用声波通信几乎成了水下无缆通信唯一的选择。然而由于海洋环境的复杂性，研究水声通信技术，势必会碰到诸如随机时-空-频变、强多途、强噪声等特殊问题。

1.1 研究水下文本/图象通信的意义

水声通信包括水下文本、语音、图象、视频及数据传输，是各类水下载体间及其与水面舰船间传递信息的主要手段。包括在军事上的应用，主要有大型武器实验场数据采集、潜艇与潜艇、潜艇与水面舰艇、潜艇与岸上指挥基地之间的信息传输等。两次世界大战均显示了水下通信及探测在军事应用上的重要性。随着海洋资源开发及海洋战略地位在各国综合国力的较量中越来越重要，水下通信的研究正变得越来越重要和迫不及待。目前水声通信技术属于发达国家对我国实行技术封锁的领域之一，因此独立自主地发展水声通信技术对我国的国家安全有着重要意义。

二战后，随着人们越来越多地把开发目光投向海洋，水声技术开始逐渐由军用转向民用。水声技术已成为海洋开发及研究工作不可缺少的手段。水声技术在民用及科研方面的应用主要包括：回声测深、海底地貌绘测、海洋地质勘探、船舶导航、鱼群探测、水下机器人、海洋考古、沉船打捞、海上失事飞机黑匣子定位、实时海洋环境检测、海洋灾难预报、海上石油、矿产勘探及开发过程中，水

下石油管道铺设与定位、船舶动力定位、井口重入等方面^[1-3]。如图 1-1 所示。

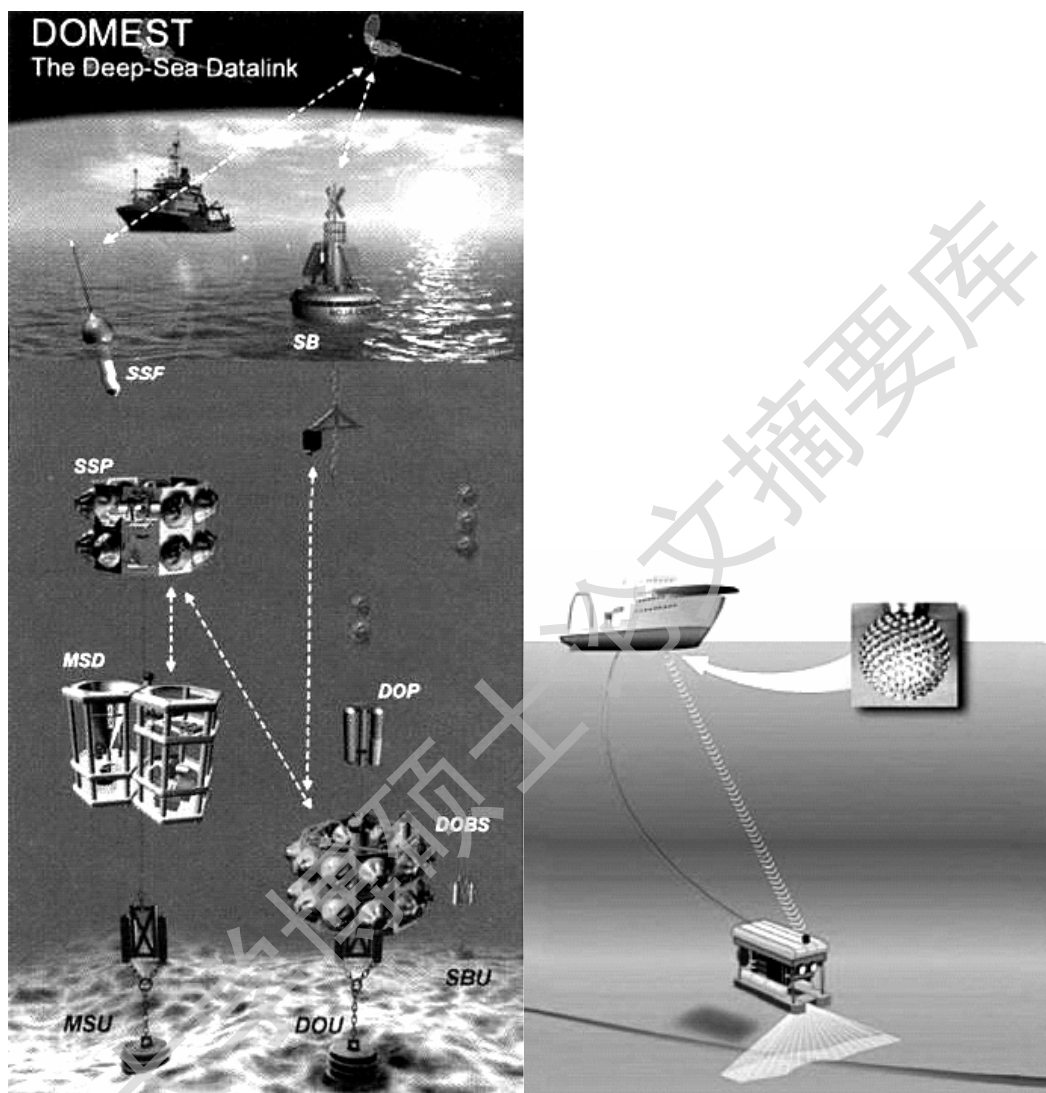


图 1-1: 水声技术在海洋开发及科学研究中的应用

可见, 研究水声通信, 建立高可靠性和高速率的水下通信链路, 构建陆-海-空三维空间移动互连通信网络无论对军事领域和海洋的研究、开发都具有非常重要的意义。

1.2 水声通信技术的发展及现状

在水声通信技术研究中, 难题之一是如何解决因多径现象而造成的码间干扰 (ISI, Intersymbol interference)。因为声波在海水中传播的速度为 1500m/s, 所以在水声通信中由于多径现象而引起的码间干扰常常长达几毫秒到几百毫秒。因

此必须采用一些有效的手段来克服码间干扰才能实现正常通信。

早期水声通信设备基本上采用模拟通信方式，如水下模拟电话，采用模拟双边带或单边带调制，通信质量差。如图 1-2 为美国海军模拟水声通信系统 AN/WQC-2A^[4]。



图 1-2: 美国海军模拟水声通信系统 AN/WQC-2A

而随着数字信号处理技术的发展及通信技术的进步，现代水声通信系统普遍采用数字通信技术，如移频键控（FSK），移相键控（PSK）等等。如图 1-3 为一般数字水声通信系统框图。

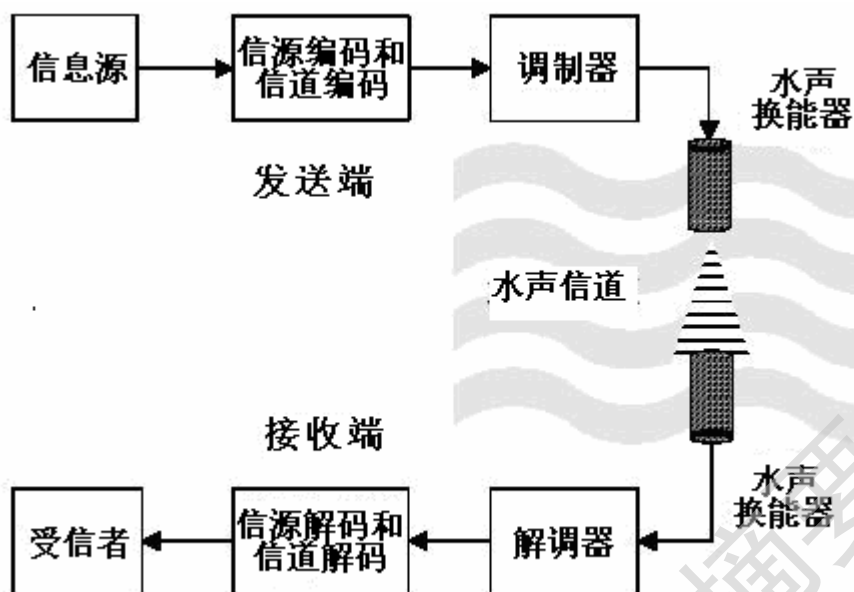


图 1-3: 一般数字水声通信系统框图

在最初的水声信道研究中，水声信道被近似为瑞利衰落信道，即接收波形的复包络为瑞利分布，其相位为均匀分布。在这种条件下，非相干调制比相干调制更适用于水声信道，因此采用非相干调制的 FSK 得到了较大发展^[5]。

FSK 即移频键控，使用不同的频率代表信息，如 f_i 代表信号“0”， f_j 代表信号“1”。因此在接收端只需判断接收到信号的频率便可恢复发射信号，得到相应信息。而且 FSK 调制方式对水声信道的时间和频率扩展都有很强的适应能力。在早期的基于 FSK 调制方式的水声通信系统中，多数采用窄带跟踪滤波器来实现对信号频率的检测，而随着数字信号处理技术的发展及集成电路的广泛应用，现在已可采用 DSP 芯片通过 FFT 算法或其他方法来方便地得到被分析信号的频率信息了。另外，若使用 MFSK（多频移频键控），还可达到频率分集的效果并提高信息传输率。

然而，FSK 也存在缺点：

1: 需要较宽的频带宽度，单位带宽的通信速率低（一般不超过 0.5bit/s），并要求有较高的信噪比。而且被综合运用来对抗码间干扰的跳频技术属于扩频通信，也需要较宽的频带宽度。但水声信道可用频带是非常窄的，这与 FSK 和跳频所要求的频带宽度是一对矛盾，当需要进行中远距离通信时，这对矛盾就更加突出了，而且此时 FSK 所要求的高信噪比条件也很难满足。

2: 通信间的潜艇或舰船之间相对移动时, 会产生多普勒频移。因此采用的各频点之间需设置一定的频率余量, 于是进一步降低了频谱利用率, 给本来就已捉襟见肘的可用频带雪上加霜。

在近十年间, 非相干接收技术的发展主要在于采用更有效, 能力更强的硬件上。目前, 非相干接收系统研制面临的主要任务是自适应调节系统的参数以达到最佳化, 以适应所处的信道环境, 从而达到最远的传输距离, 最高的数据率和可靠性。

随着人们对远距离通信、水下图象传输等高速率通信的需求越来越明显, 人们开始广泛关注相干调制解调方法(即使用 **PSK** 调制解调)。与非相干接收系统相比, 相干接收系统在近二十年间得到了很大的发展。在相干接收发展中具有里程碑意义的是在接收机中使用了判决反馈均衡器 (**Decision Feedback Equalization**, 简称 **DFE**) 和锁相环 (**Phase-Locked loop**, 简称 **PLL**), 在传统的水声传输观念中, 时变起伏是相干接收的主要障碍, 但实际上使用 **DFE** 和 **PLL** 也是基于要估计和跟踪信道脉冲响应的复杂性和时变性^[4]。

与 **FSK** 相比, 相干检测方法是使用载波的相位来承载信息, 因此它不需要使用多种频率及使用很大的带宽。另外, 由于相干检测可使用相关方法, 因此使用相干检测有可能将被噪声淹没的信号检测出来, 即在低信噪比的情况下检测出信息。这两点对于实现远距离通信是非常有利的。而且相干检测对频谱的利用率较高, 这有利于提高信息传输速率。

同样, 使用相干检测也有其缺点:

1: 使用 **PSK** 需要得到正确的相位参考, 即需要达到相位同步, 而在水声通信中, 同步技术一直是个难题, 而要达到相位同步就更难了。再加上由于相干检测的信号处理方法与 **FSK** 不同, 这导致基于相干检测的水下通信系统一般都比非相干检测的复杂很多。

2: 相干检测本身是无法对抗多途形成的码间干扰的, 而且也无法象 **FSK** 那样简单地通过使用跳频便可对抗码间干扰。因此需要综合使用更加复杂的信号处理方法或接收机结构来对抗码间干扰, 如 **Rake** 接收机。

目前国际上水声通信领域已取得一些阶段性成果:

美国东北大学和 **Datasonic** 公司联合开发调制器, 用 **Hadamard** 码, **ATM-875**

水声调制解调器, 最大声源级 175dB, 8-14kHz, 最大传输率 1200bit/s。

Space&Naval Warfare 系统中心, MFSK 调制, 当 SNR 为 8dB 时, 误码率为 10^{-5} 。

Lockhill Martin 公司, 研究跳频、频谱扩张和自适应均衡技术。

水下图像压缩技术, Florida Univ. 压缩比 400: 1。

Woods Hole 研究所, 声学 Modem, 有两种调制方式, MFSK (10-1000bps) 及 PSK (2500-10000bps) 载频为 30kHz, 接收机声功率 4W, 休眠状态只需 0.05mw。

2000 年 5 月底, 美国海军采用 Benthos 公司的 ATM885 型水声 Modem, 从加利福尼亚州南部太平洋海面下 130m 的海豚号潜艇 (USS Dolphin) 经附近的卫星无线中继浮标 (Satellite-linked Relay Buoy) 中转, 成功发送 E-mail 到圣地亚哥的美国海军总部^[6-11], 标志着水声通信开始进入实用化阶段。

下图为国外主要商用水声通信设备及其基本参数^[12]。

开发商	应用领域	适用信道	调制方式	码间干扰补偿措施	载波频率	数据速率
日本 OKI 公司	水下机器人通信和遥控	60 米浅水信道	16-QAM	线性均衡 (LMS 算法)	1MHz	500kbps
日本 JAMSTEC 公司	图像数据传输	垂直距离 6500 米	4-DPSK	线性均衡 (LMS 算法)	20KHz	16Kbps
IFREMER/ORCA	图像数据传输	垂直距离 2000 米	2-DPSK	无	53KHz	19.2Kbps
ENST(英)/IFREMER	数字语音通信	水池	4-DPSK	判决反馈均衡 (LMS)	注: 未见报道	6Kbps
Micrilor 公司	水声遥测数据	浅海信道 1000 米	2-DPSK	直接序列扩频	30KHz/100KHz	600bps
Woods Hole 海洋科学研究所(美)/Datasonics (美)[注 1]	水声遥测数据	水平和垂直方向 (无具体数字)	16×4-FSK	无	15KHz	1200bps
Woods Hole 海洋科学研究所(美)	水声遥测数据	冰层下浅水信道	QPSK	判决反馈均衡 (RLS)	15KHz	5Kbps

图 1-4: 国外主要商用水声通信设备及其基本参数

下图为国外典型水声通信样机及其基本参数。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库